

К. т. н. Б. А. ШАНГЕРЕЕВА

Россия, г. Махачкала, Дагестанский гос. технический ун-т
E-mail: bijke@mail.ru

Дата поступления в редакцию
02.04—20.11 2007 г.

Оппонент д. х. н. В. Н. ТОМАШИК
(ИФП им. В. Е. Лашкарёва, г. Киев)

ДИФФУЗИЯ ФОСФОРА С ПРИМЕНЕНИЕМ ТВЕРДОГО ПЛАНАРНОГО ИСТОЧНИКА В ПРОИЗВОДСТВЕ ИНТЕГРАЛЬНЫХ СХЕМ

Полученные оптимальные технологические режимы процесса диффузии фосфора с применением твердого планарного источника позволяют получать транзисторы с улучшенными электрофизическими характеристиками.

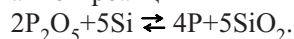
При изготовлении полупроводниковых приборов и интегральных схем часто проводят диффузию различных примесных элементов в исходный монокристаллический полупроводниковый материал (германий, кремний, арсенид галлия и др.). Диффузия примесей необходима и для получения полупроводникового материала определенного типа проводимости, создания в нем активных областей с требуемой концентрацией носителей заряда определенного знака, образования в объеме монокристалла *p-n*-переходов.

Для осуществления диффузии фосфора кремниевую пластину помещают в нагретую до высокой температуры кварцевую трубу диффузионной печи и через нее пропускают пары легирующей примеси, которые адсорбируются на поверхности пластины и затем диффундируют в кристаллическую решетку.

Отличительной особенностью диффузии фосфора в планарной технологии является то, что примесь вводят в кремниевую пластину локально, в ограниченные защитной маской окна, а сам процесс осуществляется в две стадии: предварительная загонка нужного количества примесей и последующая разгонка на требуемую глубину для достижения необходимого уровня концентрации.

Диффузаны, используемые для формирования легированных слоев *p*- и *n*-типа в технологии изготовления полупроводниковых приборов и интегральных микросхем, представляют собой соединения донорной примеси с водородом, галогеном, кислородом или другими элементами. Они подразделяются на газообразные, жидкие и твердые [1, 2].

Твердые планарные источники диффузии фосфора при нагревании выделяют пятиокись фосфора в газовую фазу. Молекулы P_2O_5 диффундируют к поверхности кремниевых пластин с последующим протеканием реакции



В результате образуется слой фосфорно-силикатного стекла, из которого происходит диффузия фосфора в объем кремния [2, с. 178, 179; 3].

При базовом технологическом процессе формирования активной области *n*-типа для мощных транзисторов используется жидкий диффузат $POCl_3$ (оксихлорид фосфора), что создает проблемы в управлении технологическим процессом и приводит к получению нестабильных результатов. В связи с этим нами была проведена работа по определению оптимальных технологических режимов диффузии фосфора с применением твердого планарного источника.

Основными технологическими факторами, влияющими на процесс диффузии и на параметры получаемой структуры, являются температура проведения процесса, время, расстояние между источником примеси и пластиной в кварцевой cassette и расход технологических газов. Основными контролируемыми параметрами в нашем случае являются глубина залегания *p-n*-перехода (x_j , мкм) и поверхностное сопротивление диффузионного слоя (R_s , Ом/□). Полученные экспериментальные данные приведены в табл. 1.

Из анализа полученных результатов можно сделать вывод, что с увеличением расстояния между источником примеси и пластиной при постоянных температуре и времени процесса глубина *p-n*-перехода уменьшается. Увеличение температуры и времени проведения процесса при неизменном расстоянии между источником примеси и пластиной приводит к возрастанию глубины *p-n*-перехода.

Таблица 1

Технологические режимы активной области диффузии фосфора

Газ	Расход газа, л/ч	Температура, °С	Время, мин	Сопротивление R_s , Ом/□
Загонка фосфора				
Кислород	37,8	1100	60	0,60±0,05
Азот	740			
Водород	7,5			
Разгонка фосфора				
Кислород	37,8	1250	60×90	0,25±0,05
Азот	740			
Водород	7,5			

Для проведения диффузии фосфора пластины после химической обработки загружали в кварцевую кассету. Вначале загружали пластины твердого планарного источника (ТПИ), а затем кремниевые пластины. Расстояние между пластиной ТПИ и кремниевой пластиной составляло 4,0 мм. Контроль R_S проводили по пяти точкам на каждой пластине с использованием установки FPP-5000.

Из рис. 1 видно, что с увеличением температуры процесса и времени его проведения сопротивление диффузионного слоя уменьшается. Для заданного сопротивления диффузионного слоя ($0,6 \pm 0,1 \text{ Ом/}\square$) при формировании активной области диффузии фосфора температура процесса составляет 1100°C и время его проведения — 60 мин, а для разгонки ($0,25 \pm 0,05 \text{ Ом/}\square$) температура процесса равна 1250°C и время его проведения — 90 ч.

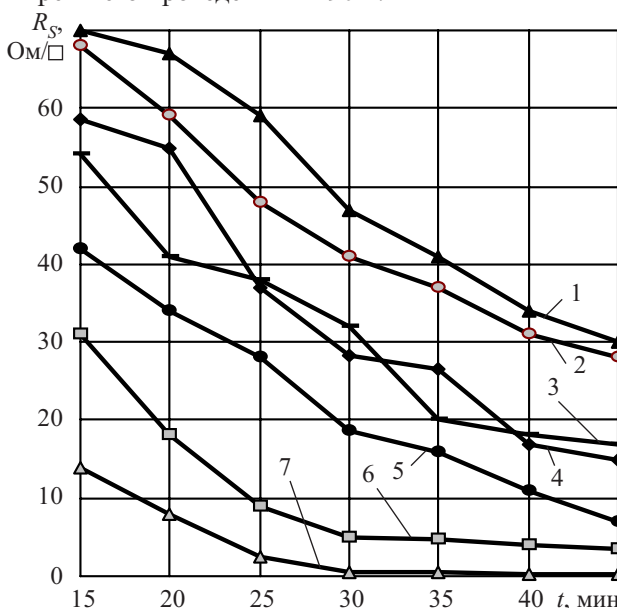


Рис. 1. Зависимость поверхностного сопротивления от времени проведения процесса загонки фосфора при различной температуре:

1 — 900°C ; 2 — 900°C (расчет); 3 — 950°C (расчет); 4 — 950°C ; 5 — 1000°C ; 6 — 1050°C ; 7 — 1100°C

Для определения зависимостей поверхностного сопротивления от времени и температуры процесса при разгонке использовали пластины после загонки фосфора. На этапе загонки необходимо получить поверхностное сопротивление диффузионного слоя, равное $0,6 \pm 0,05 \text{ Ом/}\square$, а на этапе разгонки оно должно составлять $0,25 \pm 0,025 \text{ Ом/}\square$. Для этого использовали рабочие пластины после операции загонки фосфора и проводили процесс разгонки, изменяя температуру и время проведения процесса (рис. 2).

Для определения зависимости поверхностного сопротивления от глубины залегания $p-n$ -перехода использовались пластины после разгонки фосфора.

Из анализа полученных зависимостей видно (рис. 1, 2), что при увеличении температуры проведения процесса и уменьшении поверхностного сопротивления глубина залегания диффузионного слоя увеличивается. Необходимую глубину залегания, входящуюся при загонке фосфора в пределах $x_j = 60 \text{ мкм}$,

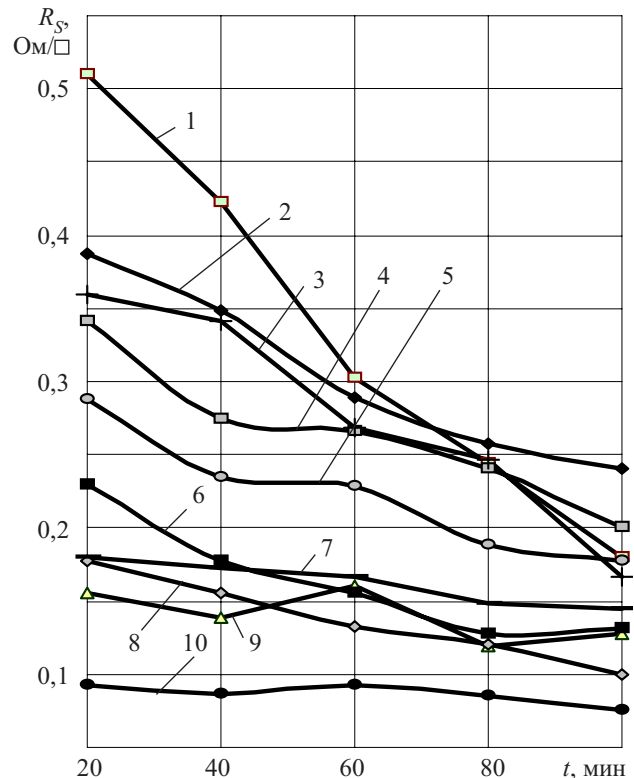


Рис. 2. Зависимость поверхностного сопротивления от времени проведения процесса разгонки фосфора при различной температуре:

1 — 1300°C ; 2 — 1250°C ; 3 — 1250°C (расчет); 4 — 1150°C (расчет); 5 — 1200°C (расчет); 6 — 1150°C ; 7 — 1300°C (расчет); 8 — 1100°C (расчет); 9 — 1200°C ; 10 — 1100°C

получали при температуре проведения процесса 1100°C и времени 30 мин, а при разгонке глубину залегания $p-n$ -перехода $x_j = 100 \pm 10 \text{ мкм}$ получали при 1250°C в течение 90 ч при соответствующем поверхностном сопротивлении.

Оптимальные режимы проведения процесса диффузии фосфора с применением твердого диффузанта фосфора (ТПИ) приведены в табл. 2. После окончания разгонки фосфора проводили измерение глубины диффузии методом косого шлифа [2]. Глубина диффузии соответствовала 100 мкм .

Таблица 2

Оптимальные технологические режимы проведения процесса диффузии фосфора

Диффузия фосфора	Поверхностное сопротивление R_S , Ом/	Температура процесса, $^\circ\text{C}$	Время	Глубина диффузионного слоя, мкм
I стадия (загонка)	$0,60 \pm 0,05$	1100	60 мин	20—25
II стадия (разгонка)	$0,25 \pm 0,025$	1250	90 ч	100 ± 10

По результатам исследования определены оптимальные технологические режимы диффузии фосфора с применением ТПИ (табл. 3) для формирования активной области силового кремниевого тран-

Оптимальные технологические режимы проведения диффузии фосфора с использованием твердого планарного источника

Операция	Режим
Формирование партии пластин и химическая обработка пластин	Химическая обработка в двух ваннах: в 1-й ванне раствор $H_2SO_4:H_2O_2=10:1$ при $125^\circ C$; во 2-й ванне раствор $NH_4OH:H_2O_2:H_2O=1:4:20$ при $65^\circ C$ Время обработки — по 5 мин в каждой ванне
Диффузия фосфора (I стадия)	Расход газов: O_2 — $37,8 \pm 0,5$ л/ч; N_2 — 740 л/ч; H_2 — 7,5 л/ч; температура процесса $1100^\circ C$; время процесса 60 мин
Снятие фосфорносиликатного стекла, измерение поверхностного сопротивления и глубины диффузионного слоя	В растворе $HF:H_2O (1:5)$; время снятия определяется по скатыванию раствора с пластины (1—1,5 мин); контроль поверхностного сопротивления проводится на установке FPP-5000: $R_s=0,6 \pm 0,1$ Ом/□; измерение глубины диффузионного слоя (шар-шлиф): $x_f=20 \dots 25$ мкм
Химическая обработка пластин и пирогенное окисление [$\delta(SiO_2)=2$ мкм]	В двух ваннах: в 1-й ванне раствор $H_2SO_4:H_2O_2=10:1$ при $125^\circ C$, во 2-й — раствор $NH_4OH:H_2O_2:H_2O=1:4:20$ при $65^\circ C$; по 5 мин в каждой ванне; окисление при $1000^\circ C$, время окисления — 320 мин
Диффузия фосфора (II стадия)	Расход газов: O_2 — $37,8 \pm 0,5$ л/ч; N_2 — 740 л/ч; температура процесса $1260^\circ C$; время разгонки — 60 ч
Полное снятие окисла; измерение поверхностного сопротивления; измерение глубины диффузионного слоя (методом косого шлифа)	В буферном растворе $NH_4F:HF=6:1$; контроль поверхностного сопротивления на установке FPP-5000: $R_s=0,25 \pm 0,025$ Ом/□; измерение глубины диффузионного слоя под микроскопом «Эрголюкс» и с помощью шаблона: $x_f=100 \pm 10$ мкм

зистора, при которых обеспечивается глубина диффузионного слоя 100 ± 10 мкм.

Анализ результатов исследований показал, что способ диффузии фосфора с использованием жидких источников характеризуется сильной зависимостью параметров диффузионных слоев от кинетики реакции взаимодействия паров диффузанта с кислородом в диффузионной трубе, а также влиянием ряда других технологических факторов (температура жидкого диффузанта, скорость и состав газового потока, геометрия расположения кремниевых пластин). В связи с этим диффузия примесей из твердого планарного источника представляет наибольший интерес при получении однородных структур на пластинах кремния большого диаметра.

Представленная технология проведения процесса диффузии фосфора с применением твердого планарного источника обеспечивает ряд существенных преимуществ:

— улучшение управляемости процессом диффузии фосфора, что позволяет повысить пробивное напряжение $p-n$ -переходов;

— увеличение коэффициента усиления на пластинах и в партиях;

— снижение плотности структурных дефектов в $p-n$ -переходах и понижение величины коэффициента шума;

— значительное понижение токсичности процесса;

— высокая производительность за счет максимального использования рабочей зоны диффузионной трубы.

Таким образом, полученные оптимальные технологические режимы процесса диффузии фосфора с применением твердого планарного источника позволяют получать транзисторы с улучшенными электрофизическими характеристиками.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Технология производства интегральных микросхем и микропроцессоров / Под ред. В. Н. Черняева.— М.: Радио и связь, 1987.
2. Курносов А. И. Материалы для полупроводниковых приборов и интегральных микросхем.— М.: Высшая школа, 1980.
3. Готра З. Ю. Технология микроэлектронных устройств / Справочник.— М.: Радио и связь, 1991.

НОВЫЕ КНИГИ

НОВЫЕ КНИГИ



Вильнав Ж.-Ж. Клеевые соединения. — М.: Техносфера, 2007. — 384 с.

Книга состоит из двух частей: теоретической и практической. В первой рассматриваются теоретические модели адгезии, комплекс проблем, связанных с обеспечением межфазного контакта и влияние структуры полимеров на когезионную прочность. Во второй части приведены практические рекомендации по склеиванию. Подробно рассмотрены методы подготовки поверхностей, изложены общие принципы выбора клеев и приведены характеристики основных видов клеящих материалов. В каждой главе читатель найдет ссылки на веб-ресурсы.

Книга предназначена для преподавателей, студентов, конструкторов и технологов промышленных предприятий.